



02. Modéliser des données expérimentales grâce au **Solveur** d'Excel

*Le solveur est un outil complémentaire d'Excel qui permet
d'optimiser un modèle déjà préparé*

1. Installation/activation du solveur

Fichier



Options



Compléments

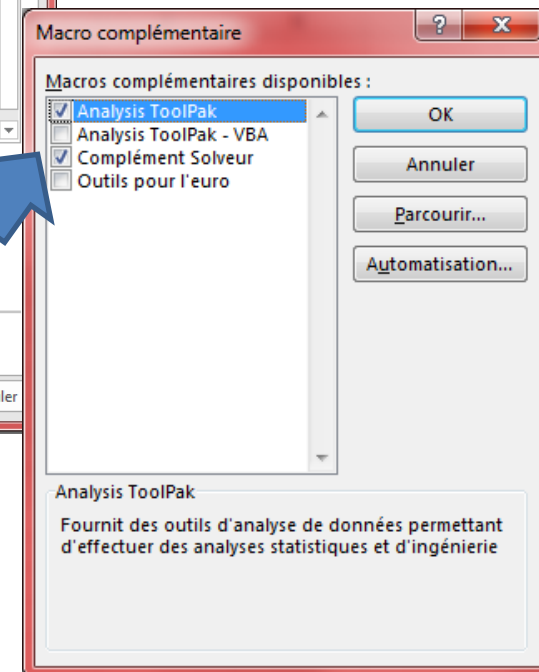
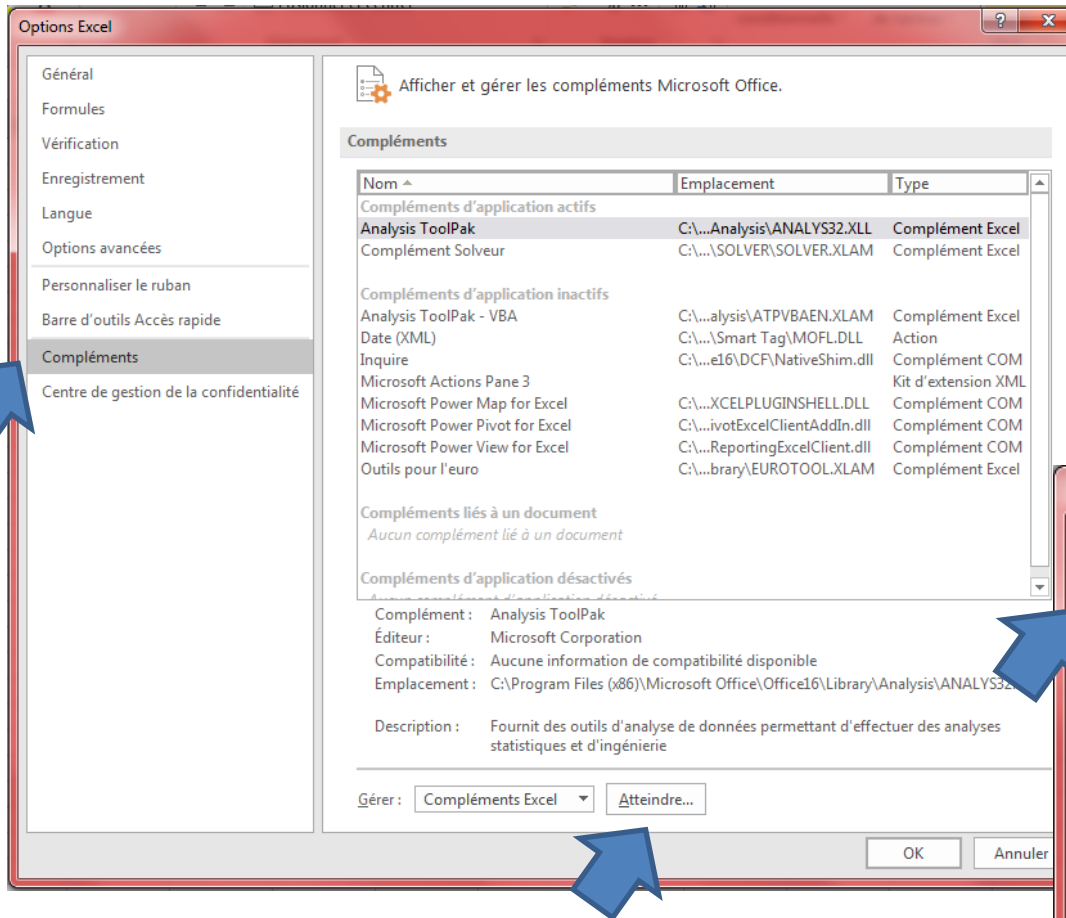


Atteindre

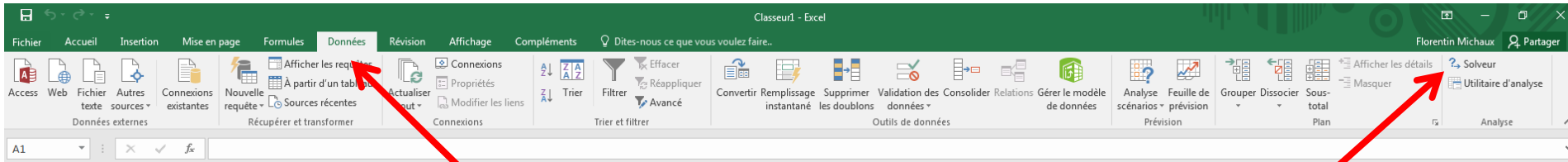


Cocher

"complément
Solveur"



1. Installation/activation du solveur



Onglet "Données" → Solveur

2. Travail à réaliser

1. Importation des données dans Excel

Données expérimentales = Décroissance d'une intensité mesurée en fonction du temps

Fichier .txt "résultats_bruts" → intensité = f(temps)

résultats_bruts.txt - Bloc-notes

Fichier Edition Format Affich

Temps (sec)#Intensité

1#1400.2
2#1251.6
3#1135.7
4#1021.8
5#937.1
6#870.5
7#794.1
8#735.6
9#675.2
10#640.2
11#602.4
12#567.4
13#534.9
14#502.3
15#478.1
16#452.2
17#438.2
18#404.2
19#385.1
20#362.1
21#349.2
22#324.1
23#310.5
24#294.2
25#280.4
26#270.1
27#253.1
28#242.6
29#230.3
30#220.1

Ouverture dans excel et
importation en 2 colonnes

Assistant Importation de texte - Étape 2 sur 3

Cette étape vous permet de choisir les séparateurs contenus dans vos données. Vous pouvez voir les changements sur votre texte dans l'aperçu ci-dessous.

Séparateurs

☒ Tabulation
☐ Point-virgule
☐ Virgule
☐ Espace
☒ Autre : #

☐ Interpréter des séparateurs identiques consécutifs comme uniques

Identificateur de texte : *

Aperçu de données

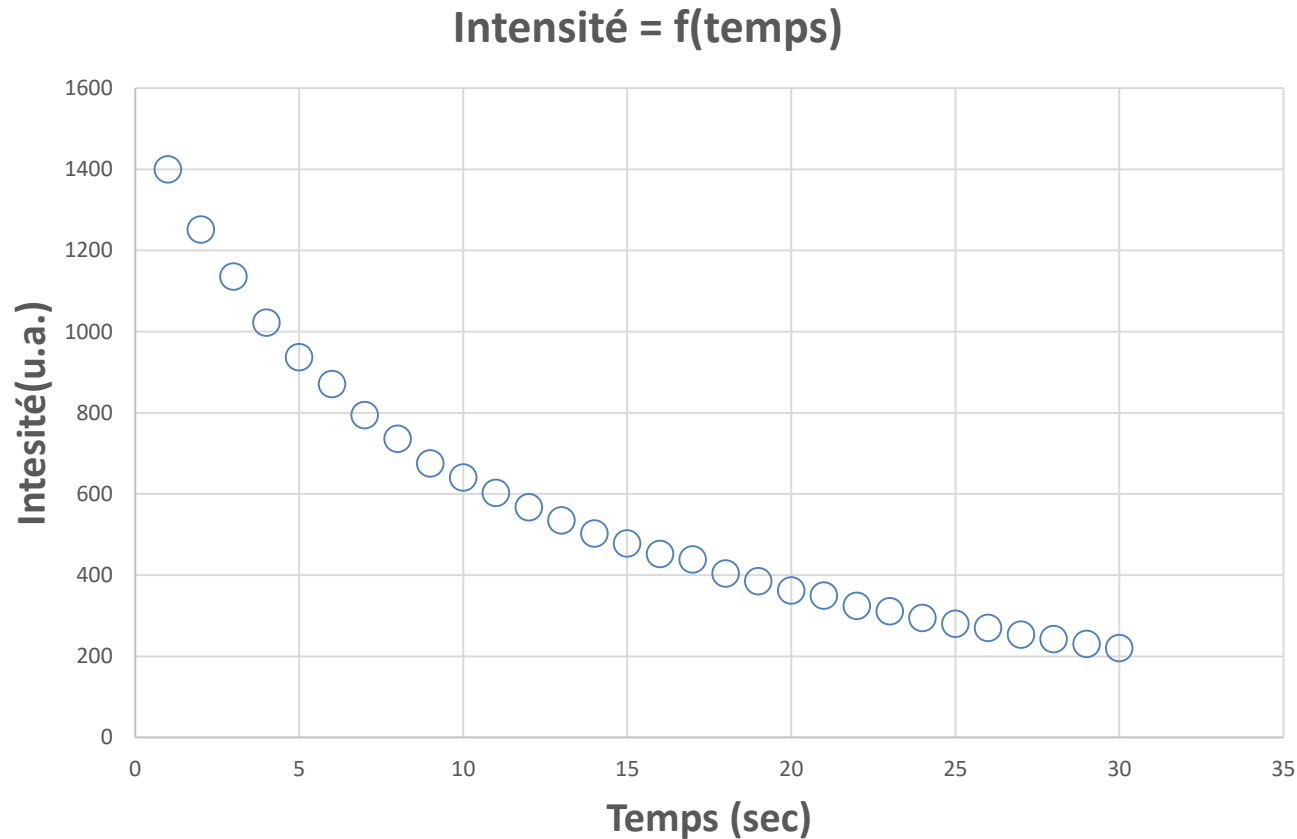
Temps (sec)	Intensité
1	1400.2
2	1251.6
3	1135.7
4	1021.8

Annuler < Précédent Suivant > Terminer

	A	B	
1	Temps (sec)	Intensité	
2	1	1400.2	
3	2	1251.6	
4	3	1135.7	
5	4	1021.8	
6	5	937.1	
7	6	870.5	
8	7	794.1	
9	8	735.6	
10	9	675.2	
11	10	640.2	
12	11	602.4	
13	12	567.4	
14	13	534.9	
15	14	502.3	
16	15	478.1	
17	16	452.2	
18	17	438.2	
19	18	404.2	
20	19	385.1	
21	20	362.1	
22	21	349.2	
23	22	324.1	

2. Travail à réaliser

2. Représentation graphique intensité = f(temps)

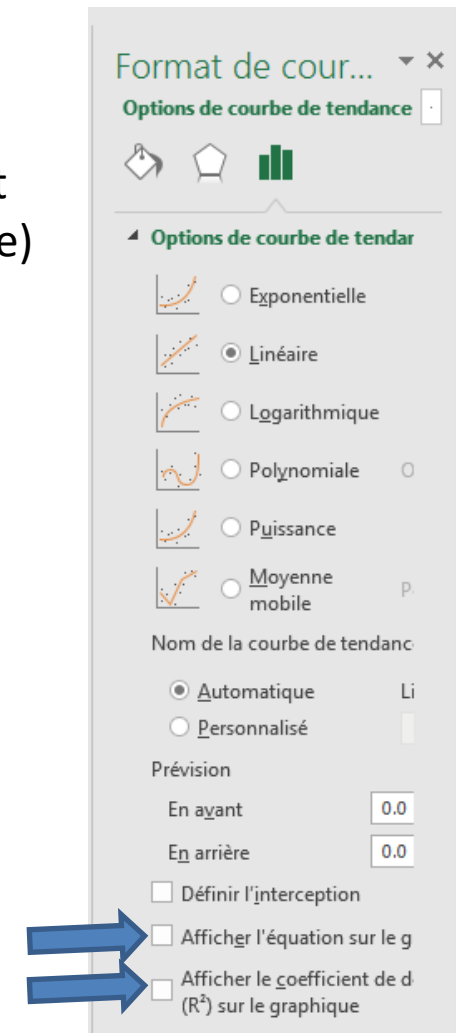
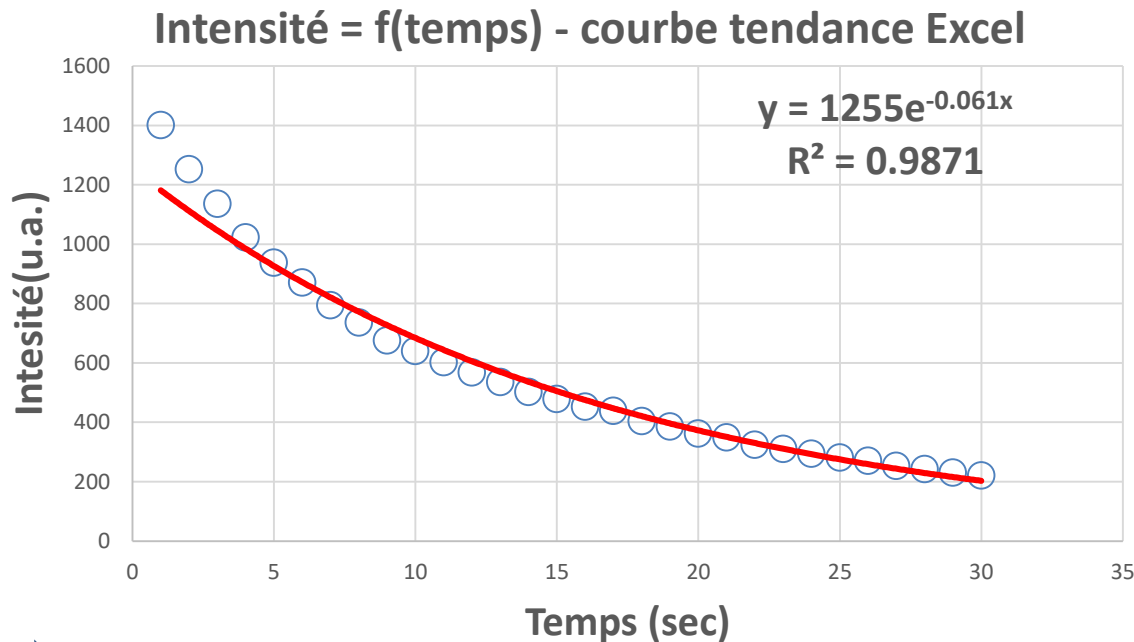


Objectif → modéliser cette décroissance par une relation mathématique

2. Travail à réaliser

3. Modélisation par une relation exponentielle en utilisant les modèles implémentés dans Excel (courbes de tendance)

Clic droit sur la courbe de donnée
→ ajouter une courbe de tendance



Intensité = $1255 * e^{-0.061 * \text{temps}}$

mais

Mauvaise corrélation entre
modèle et expérience

2. Travail à réaliser

4. Utilisation d'un modèle mathématique sans utilisation des courbes de tendance

La décroissance de l'intensité mesurée en fonction du temps suit un modèle à une ou deux décroissances exponentielles

$$Intensité = A.e^{-m.temps}$$

→ Accessible avec les courbes de tendance mais mauvaise corrélation

ou

$$Intensité = A.e^{-m.temps} + B.e^{-n.temps}$$

→ Non accessible avec les courbes de tendance

Avec A, B, m et n des constantes que l'on veut déterminer à partir des données expérimentales

2. Travail à réaliser

4. Utilisation d'un modèle mathématique sans utilisation des courbes de tendance

Modélisation avec une exponentielle décroissante sans utilisation des courbes de tendance

Démarche :

1. Choisir des valeurs aléatoires "de départ" pour les constantes A et m dans 2 cases
2. A partir de ces valeurs et des valeurs expérimentales des temps (colonne A), calculer dans une nouvelle colonne une "intensité calculée"

2. Travail à réaliser

SOMME				
= \$D\$3*EXP(-\$D\$4*A3)				
	A	B	C	D
1				Modèle monoexponentielle
2	Temps (sec)	Intensité		Intensité calculée
3	1	1400.2	A	2500 (A3)
4	2	1251.6	m	0.2
5	3	1135.7		
6	4	1021.8		
7	5	937.1		
8	6	870.5		
9	7	794.1		
10	8	735.6		
11	9	675.2		
12	10	640.2		
13	11	602.4		
14	12	567.4		
15	13	534.9		
16	14	502.3		
17	15	478.1		
18	16	457.2		

Utiliser "\$" pour fixer une cellule
(\$B\$3) dans une équation

Création d'une colonne (intensité calculée) utilisant le modèle et les constantes A et m
 choisi aléatoire comme valeurs de départ

Ajout du modèle sur le graphique sous forme d'une ligne et non sous forme de points

2. Travail à réaliser

4. Utilisation d'un modèle mathématique sans utilisation des courbes de tendance

Modélisation avec une exponentielle décroissante sans utilisation des courbes de tendance

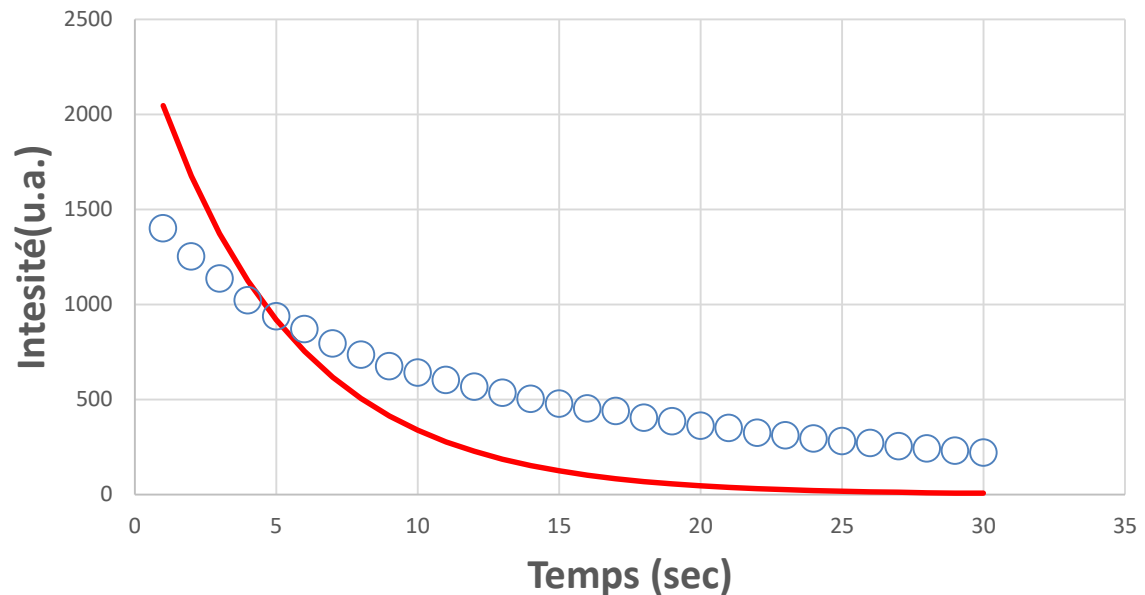
Démarche :

1. Choisir des valeurs aléatoires des constantes A et m dans 2 cases
2. A partir de ces valeurs et des temps expérimentaux, calculer dans une nouvelle colonne une "intensité calculée"
3. Ajouter le contenu de cette nouvelle colonne sur le graphique (qui pour l'instant n'est pas ajusté sur les points expérimentaux)

2. Travail à réaliser

SOMME				
= \$D\$3*EXP(-\$D\$4*A3)				
A	B	C	D	E
Modèle monoexponentielle				
Temps (sec)	Intensité			Intensité calculée
1	1400.2	A	2500	A3)
2	1251.6	m	0.2	1675.800115
3	1135.7			1372.02909
4	1021.8			1123.32241
5	937.1			919.6986029
6	870.5			752.9855298
7	794.1			616.4924099
8	735.6			504.741295
9	675.2			413.2472206
10	640.2			338.3382081
11	602.4			277.0078959
12	567.4			226.7948832
13	534.9			185.6839455
14	502.3			152.0251566
15	478.1			124.4676709
16	452.2			101.9055000

Intensité = f(temps)



2. Travail à réaliser

4. Utilisation d'un modèle mathématique sans utilisation des courbes de tendance

Modélisation avec une exponentielle décroissante sans utilisation des courbes de tendance

Démarche :

1. Choisir des valeurs aléatoires des constantes A et m dans 2 cases
2. A partir de ces valeurs et des temps expérimentaux, calculer dans une nouvelle colonne une "intensité calculée"
3. Ajouter le contenu de cette nouvelle colonne sur le graphique (qui pour l'instant n'est pas ajusté sur les points expérimentaux)

La modélisation passe par la réduction de l'écart entre les valeurs calculées et les valeurs expérimentales en utilisant le solveur d'Excel. Pour cela :

4. Création d'une nouvelle colonne nommée "résidu" calculant la différence au carré des intensités calculées et expérimentales (le carré est utilisé afin de n'avoir que des valeurs positives)

2. Travail à réaliser

SOMME		:	X	✓	fx	=(F3-B3)^2	
	A	B	C	D	E	F	G
1				Modèle monoexponentielle			
2	Temps (sec)	Intensité				Intensité calculé	résidu
3	1	1400.2	A	1374.775		1283.052406	=(F3-B3)^2
4	2	1251.6	m	0.069048		1197.449487	2932.27805
5	3	1135.7				1117.557839	329.138007
6	4	1021.8				1042.996416	449.288051
7	5	937.1				973.4095954	1318.38671
8	6	870.5				908.4654806	1441.37772
9	7	794.1				847.8543189	2889.5268
10	8	735.6				791.2870234	3101.04458
11	9	675.2				738.4937948	4006.10447
12	10	640.2				689.2228343	2403.23828
13	11	602.4				643.2391425	1667.83556
14	12	567.4				600.3233988	1083.95019
15	13	534.9				560.2709154	643.683347
16	14	502.3				522.8906606	423.975306
17	15	478.1				488.0043484	98.0961176
18	16	452.2				455.4455874	10.5338374
19	17	438.2				425.0590876	172.68358

2. Travail à réaliser

4. Utilisation d'un modèle mathématique sans utilisation des courbes de tendance

Modélisation avec une exponentielle décroissante sans utilisation des courbes de tendance

Démarche :

1. Choisir des valeurs aléatoires des constantes A et m dans 2 cases
2. A partir de ces valeurs et des temps expérimentaux, calculer dans une nouvelle colonne une "intensité calculée"
3. Ajouter le contenu de cette nouvelle colonne sur le graphique (qui pour l'instant n'est pas ajusté sur les points expérimentaux)

La modélisation passe par la réduction de l'écart entre les valeurs calculées et les valeurs expérimentales en utilisant le solveur d'Excel. Pour cela :

4. Création d'une nouvelle colonne calculant la différence au carré des intensités calculées et expérimentales (le carré est utilisé afin de n'avoir que des valeurs positives)
5. Faire la somme de cette colonne afin d'avoir **une seule cellule (indispensable pour l'utilisation du solveur)** dont le contenu est directement relié à l'ajustement du modèle mathématique

2. Travail à réaliser

A	B	C	D	E	F	G	H
					Modèle monoexponentielle		
Temps (sec)	Intensité				Intensité calculé	résidu	
1	1400.2		A	1255	1180.733166	$=(F3-B3)^2$	
2	1251.6		B	0.061	1110.861202	19807.4091	
3	1135.7				1045.124035	8204.00535	
4	1021.8				983.276981	1484.02299	
5	937.1				925.0898349	144.244067	
6	870.5				870.3460155	0.02371122	

24	294.2				290.2930272	15.2644362	
25	280.4				273.1144264	53.0795832	
26	270.1				256.9523994	172.8594	
27	253.1				241.7467889	128.895402	
28	242.6				227.4409971	229.795367	
29	230.3				213.9817758	266.284441	
30	220.1				201.3190276	352.724926	
						somme	
						91446.0573	

2. Travail à réaliser

Option "Repérer les antécédents"
utilisable depuis l'onglet "Formule"

→ Le contenu de la cellule "somme"
dépend bien du contenu des cellules
dans lesquelles les constantes A et m
sont présentes

	A	B	C	D	E	F
1						
2	Temps (sec)	Intensité			Intensité calculée	résidu
3	1	1400.2	A	2500	2046.826883	48126.325
4	2	1251.6	m	0.2	1675.800115	179945.738
5	3	1135.7			1372.02909	55851.4389
6	4	1021.8			1123.32241	10306.7998
7	5	937.1			919.6986029	302.80862
8	6	870.5			752.9855298	13809.6507
9	7	794.1			616.4924099	31544.4561
10	8	735.6			504.741295	58295.7417
11	9	675.2			413.2472206	68619.2587
12	10	640.2			338.3382081	91120.5414
13	11	602.4			277.0078959	105880.021
14	12	567.4			226.7948832	116011.846
15	13	534.9			185.6839455	121951.853
16	14	502.3			152.0251566	122692.466
17	15	478.1			124.4676709	125055.824
18	16	452.2			101.9055099	122706.23
19	17	438.2			83.4331749	125859.5
20	18	404.2			68.30930612	112822.558
21	19	385.1			55.92692964	108354.91
22	20	362.1			45.78909722	100052.587
23	21	349.2			37.48894205	97163.7836
24	22	324.1			30.69334976	85087.4624
25	23	310.5			25.12958936	81436.2713
26	24	294.2			20.57436762	74870.9867
27	25	280.4			16.8448675	69461.3079
28	26	270.1			13.79141105	65694.0928
29	27	253.1			11.29145236	58471.3737
30	28	242.6			9.244659291	54454.715
31	29	230.3			7.568886863	49609.1488
32	30	220.1			6.196880442	45754.5446
33		moyenne				
34		565.45				somme
35						2767314.24

2. Travail à réaliser

4. Utilisation d'un modèle mathématique sans utilisation des courbes de tendance

Modélisation avec une exponentielle décroissante sans utilisation des courbes de tendance

Démarche :

1. Choisir des valeurs aléatoires des constantes A et m dans 2 cases
2. A partir de ces valeurs et des temps expérimentaux, calculer dans une nouvelle colonne une "intensité calculée"
3. Ajouter le contenu de cette nouvelle colonne sur le graphique (qui pour l'instant n'est pas ajusté sur les points expérimentaux)

La modélisation passe par la réduction de l'écart entre les valeurs calculées et les valeurs expérimentales en utilisant le solveur d'Excel. Pour cela :

4. Création d'une nouvelle colonne calculant la différence au carré des intensités calculées et expérimentales (le carré est utilisé afin de n'avoir que des valeurs positives)
5. Faire la somme de cette colonne afin d'avoir **une cellule** dont le contenu est directement relié à l'ajustement du modèle mathématique
6. Utiliser le solveur pour minimiser le contenu de cette cellule en ajustant automatiquement les valeurs de A et m

2. Travail à réaliser

cellule cible = cellule "somme des écarts"

valeur souhaitée pour la cellule cible
= écart minimal entre expérimentale
et calculée donc 0 (ou valeur min)

cellules variables
= valeurs de A et m

possibilité d'ajouter des
contraintes telles que $\$C\$3 \leq 10000$ par exemple

2. Travail à réaliser

G3

:

✕

✓

f_x

=(F3-B3)^2

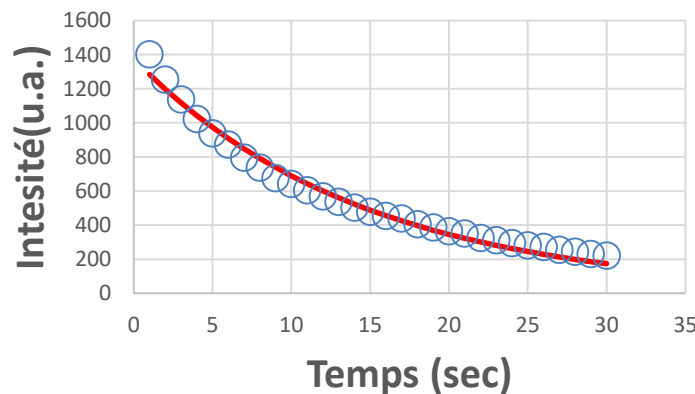
	A	B	C	D	E	F	G
1					Modèle monoexponentielle		
2	Temps (sec)	Intensité				Intensité calculé	résidu
3	1	1400.2		A	1374.775	1283.052406	13723.5588
4	2	1251.6		m	0.069048	1197.449487	2932.27805
5	3	1135.7				1117.557839	329.138007

Les valeurs de A et m ont été modifiées automatiquement

32	30	220.1			173.2270841	2197.07024
33						
34						somme
35						51129.0032
36						

Vous devez avoir cette somme à la fin (minimum possible avec ces données et ce modèle)

Intensité = f(temps) - solver monoexp



Le modèle de monoexponentielle décroissante ne semble pas être le meilleur pour décrire le système

2. Travail à réaliser

5. Test du second modèle mathématique (sur une nouvelle feuille)

Le modèle de monoexponentielle décroissante ne semble pas être le meilleur pour décrire le système

→ tester sur une nouvelle feuille avec un modèle de 2 exponentielles décroissantes

$$\text{Intensité} = A.e^{-m.\text{temps}} + B.e^{-n.\text{temps}}$$

→ Valeurs de A, m, B et n pour ajuster ce modèle mathématique aux données expérimentales ?

2. Travail à réaliser

$$\text{Intensité} = A.e^{-m.\text{temps}} + B.e^{-n.\text{temps}}$$

	P	Q	R	S
Modèle biexponentielle				
			Intensité calculée	résidu
A		1374.77488	2006.92234	368111.998
m		0.06904806	1852.43409	361001.603
B		800	1710.212415	330064.516
n		0.1	1579.252453	310753.237
			1458.634123	271997.842

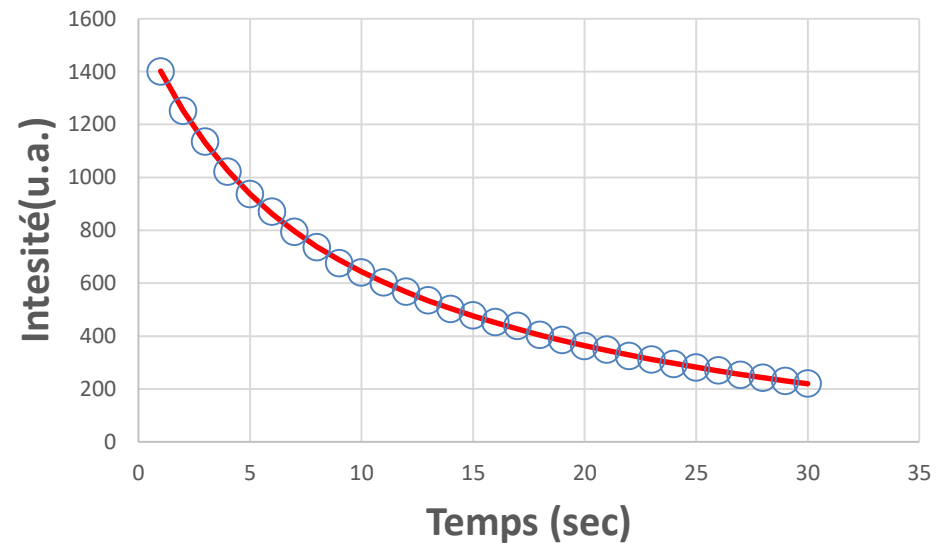
Valeurs aléatoires
pour démarrer

solveur

Modèle biexponentielle				
			Intensité calculée	résidu
A		962.349272	1401.713811	2.29162461
m		0.04929033	1253.320499	2.96011612
B		618.531971	1129.461091	38.9239917
n		0.24186275	1025.218143	11.6837003
			936.7136632	0.14925615

			219.786436	0.09832239
			somme	
			527.757088	

Intensité = f(temps) - solver biexp



Bonne adéquation entre
valeurs expérimentales et
calculées

2. Travail à réaliser

6. Détermination du coefficient de détermination R^2

$$R^2 = 1 - \frac{\sum [(I_{\text{calculée}} - I_{\text{expérimentale}})^2]}{\sum [(I_{\text{expérimentale}} - \text{moyenne}(I_{\text{expérimentale}}))^2]}$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1					Modèle monoexponentielle					Modèle biexponentielle			
2	Temps (sec)	Intensité	(exp-moy)^2			Intensité calculée	résidu				Intensité cal	résidu	
3	1	1400.2	696807.5625	A	1374.775	1283.052406	13723.5588		A	962.349272	1401.71381	2.29162461	
4	2	1251.6	470801.8225	m	0.069048	1197.449487	2932.27805		m	0.04929033	1253.3205	2.96011612	
5	3	1135.7	325185.0625			1117.557839	329.138007		B	618.531971	1129.46109	38.9239917	
6	4	1021.8	208255.3225			1042.996416	449.288051		n	0.24186275	1025.21814	11.6837003	
7	5	937.1	138123.7225			973.1095954	1318.38671				936.713663	0.14925615	
25	23	310.5	64999.5025			280.8834475	877.140181				312.103477	2.57113753	
26	24	294.2	73576.5625			262.1434156	1027.6246				296.696958	6.23479974	
27	25	280.4	81253.5025			244.6536845	1277.79907				282.116456	2.94621975	
28	26	270.1	87231.6225			228.3308364	1744.66302				268.303973	3.22571289	
29	27	253.1	97562.5225			213.097019	1600.23849				255.208228	4.44462711	
30	28	242.6	104232.1225			198.8795742	1911.47564				242.783488	0.03366776	
31	29	230.3	112325.5225			185.6106913	1997.13431				230.988636	0.47421981	
32	30	220.1	119266.6225			173.2270841	2197.07024				219.786436	0.09832239	
33		moyenne	somme										
34		565.45	3019372.715				somme	R2				somme	R2
35							51129.0032	0.98306635				527.757088	0.99982521